



Contextes géologique et hydrogéologique

Christian Eberschweiler
Hydrogéologue, BRGM-ANTEA

Eberschweiler Christian, 1996. Contextes géologique et hydrogéologique. In : Atlas d'élevage du bassin du Lac Tchad = Livestock atlas of the Lake Chad basin. De Zborowski Isolde. CIRAD-EMVT-Service Infographie-Cartographie (FRA). Wageningen : CTA, 29-32. ISBN 2-87614-248-1

Histoire géologique en bref

Le Bassin du Lac Tchad est un grand bassin sédimentaire d'âge secondaire.

Le Précambrien et le Paléozoïque

L'ensemble des formations précambriennes du Bassin du Lac Tchad est marqué par une forte empreinte de l'orogénèse panafricaine entre 700 et 600 millions d'années. Les témoins de cette période géologique se trouvent en marge du Bassin dans le Tibesti, le Ouaddaï au Tchad, les monts centrafricains et camerounais, le Bauchi nigérien et l'Aïr nigérien. Au centre, ils constituent les massifs du Guéra et du Salamat et on les observe dans la plaine du Chari-Baguirmi sous forme de pointements granitiques ou rhyolitiques comme l'Hadjer el Khamis en bordure du Lac Tchad.

Les dépôts primaires sont essentiellement localisés au nord du 16° parallèle dans le bassin des Erdis au Tchad où ils disparaissent sous les dépôts du Continental terminal, et au Niger (bassin de Djado) sous les sables quaternaires. Il s'agit de dépôts détritiques avec une série gréseuse inférieure (du Cambrien au Dévonien) séparée par des formations argileuses d'une série gréseuse supérieure qui démarre au milieu du carbonifère (Postdinantien).

Le Secondaire ; les bassins du Crétacé

Les principaux mouvements tectoniques ayant affecté la zone se sont déroulés au Jurassique supérieur et au Crétacé inférieur avec l'ouverture de grands fossés sur des directions panafricaines. Ces fossés peuvent atteindre des profondeurs de plusieurs milliers de mètres (fosses de Doba et de Bouso au Tchad). La structure régionale en bassin héritée est déterminée par deux types de linéaments : des décrochements senestres de direction NE qui passent au sud du Lac Tchad, des effondrements engendrés par des failles normales, de direction NW, axées de part et d'autre du Lac.

C'est à la fin du Crétacé inférieur (Albien-Cénomaniens) que prend fin la longue période de sédimentation continentale, identifiée depuis le Carbonifère sous le nom de Continental intercalaire. Au Cénomaniens, les parties sud et ouest du Bassin sont envahies par la mer et recouvertes de dépôts carbonatés. La séquence terminale redevient continentale détritique grossière (deltaïque : grès de Gombe au Nigeria, Continental hamadien au Niger...), ce qui suggère la présence de reliefs importants sur les marges méridionales du Bassin.

Le Tertiaire

Le Tertiaire voit le soulèvement du Tibesti avec, probablement, poursuite des effondrements au centre du bassin. Les massifs de bordure subissent une altération poussée qui se traduit par la poursuite du comblement des fossés. Le cycle débute par des dépôts détritiques de type deltaïque un peu moins grossiers qu'au Crétacé (reliefs plus atténués) au Continental terminal et au Pliocène inférieur. A partir du Pliocène moyen, la sédimentation devient plus fine. On a alors, jusqu'au Quaternaire, dans la cuvette du Tchad, des séries de dépôts fluviatiles, deltaïques, lacustres ou éoliens avec des variations latérales de faciès rapides. La présence de diatomites dans les argiles suggère des conditions de sédimentation très lentes persistant pendant de longues périodes.

Le Quaternaire

Le Quaternaire est caractérisé par d'importantes émissions volcaniques au Tibesti, et par des alternances de dépôts entre les pôles humides et arides. On observe plusieurs cycles de transgression et régression du Lac Tchad. Les dépôts éoliens et alluvionnaires du Quaternaire sont localisés dans la dépression du Lac actuel qu'ils entourent d'une large couronne.

Geology

The Lake Chad Basin is a sedimentary basin formed during the Upper Jurassic and Lower Cretaceous.

The Precambrian and the Palaeozoic

The entire Precambrian formations of the Lake Chad Basin date from the Panafrican orogeny of 700-600 million years ago. The evidence from this geological period is found on the edges of the basin in the Tibesti and Waddai in Chad, in the mountains of Central Africa and Cameroon, on the Bauchi Plateau in Nigeria and in the Aïr in Niger. In the centre they constitute the massifs of Guéra and Salamat, and in the Chari Baguirmi there are granite or rhyolite outcrops such as the Hadjer and the Khamis on the edge of the Lake itself can be observed.

Primary deposits are essentially localized north of the 16th parallel in the Erdis Basin in Chad, where they disappear under the Continental terminal deposits, and in the Djabo Basin in Chad where they are buried by Quaternary sands. These are detritus deposits with an underlying layer of Cambrian or Devonian sandstone series separated by clay formations from an upper sandstone layer that dates from the middle of the Carboniferous (post-Dinantian) period.

The Cretaceous basins

Major tectonic movements affecting the zone occurred during the Upper Jurassic or Lower Cretaceous periods, with the opening of great rifts towards the Panafrican region. These rifts, including those of Doba and Bouso in Chad, may reach a depth of several thousand metres. The inherited regional structure is determined by two types of lineaments : the lefthand slides, oriented North-East, passing on the south of the Lake Chad ; and sinkings produced by normal rifts on a North-West axis on both sides of the Lake.

The long period of continental sedimentation, identified since the Carboniferous under the name of inserted Continental terminates at the end of the Lower Cretaceous (Albian-Cenomanian). During the Cenomanian the southern and western parts of the Basin were flooded by the sea and covered by carbonated deposits. The final becomes again a rough, detritic continental one (deltaic- Gombe sandstone in Nigeria, Continental Homadinian in Niger, ...), which suggests the presence of marked reliefs on the southern marches of the Basin.

The Tertiary

Tibesti was uplifted during the Tertiary with, probably, a continuation of the sinking in the middle of the Basin. The massifs along the basin edges then undergo a major alteration further filling in the sinks. The cycle starts with deltaic type sediments, less coarse than in the Cretaceous (smoother reliefs), in the Late Continental and Lower Pliocene. Beginning with the Middle Pliocene, sedimentation becomes more fine. Down to the Quaternary, series of fluvial, deltaic, lakeside or aeolian deposits occur in the basin of Chad, with large lateral variations of the facies. Diatoms present in clays suggest very slow sedimentation conditions over long periods.

The Quaternary

The Quaternary period is characterized by a major volcanic activity in Tibesti and alternating deposits during the succeeding humid and arid periods. There were several cycles of expansion and regression of Lake Chad. The aeolian and alluvial deposits of the Quaternary are limited to the depression of the current Lake which they surround by a wide crown.

Principales nappes souterraines

Les principales unités hydrogéologiques reconnues dans le Bassin sont représentées en fond sur les cartes piézométriques et schématisées dans la coupe présentée ci-contre (figure 1). Parmi celles-ci, les seules effectivement exploitées sont celles du Quaternaire, du Pliocène inférieur et, plus sporadiquement, du Continental terminal, pour des raisons de profondeur mais aussi de qualité de l’eau. Toutes les nappes inférieures au Quaternaire sont captives et artésiennes dans le centre du Bassin.

La nappe phréatique du Quaternaire
(Upper aquifer des formations du Tchad)

- Le Quaternaire aquifère est représenté par deux types de formations :
- les sables fluviatiles du Pléistocène inférieur, plus ou moins épais, avec des intercalations argileuses plus ou moins nombreuses et épaisses, reposant sur les argiles pliocènes ;
 - les sables éoliens du Pléistocène supérieur (Ogolian) qui constituent l’aquifère phréatique d’une grande partie du Kanem et du Manga nigérien.

L’épaisseur des sables s’accroît considérablement au nord du Lac Tchad par suite de mouvements de subsidence.

La piézométrie de la nappe du Quaternaire avait été cartographiée dans les années 1970 dans le cadre de projets UNESCO et FAO pour la CBLT (Commission du Bassin du Lac Tchad). Elle a été réactualisée par le BRGM en 1992, lors d’un programme dirigé par la CBLT ; c’est celle qui est présentée sur la carte 1. On constate que le gradient général de la nappe est dirigé vers la plaine du Pays-Bas. Au nord-est cependant, la bande sahélienne est marquée par l’existence de dômes et de dépressions piézométriques très particuliers. Dans le Kanem et dans le Harr, les dômes constituent une barrière franche aux écoulements venant du Sud (limite de partage des eaux). Les deux plus grandes dépressions sont localisées dans le Chari-Baguirmi au Tchad et dans la plaine du Nigeria. Ce type de dépression, dont l’origine est encore mal expliquée, se retrouve dans toute la zone sahélienne africaine ; on s’accorde à penser qu’il est lié à des phénomènes évaporatoires.

La nappe captive du Pliocène inférieur
(Middle aquifer des formations du Tchad)

Contenue dans des formations sableuses, et séparée de la nappe phréatique par les épais dépôts argileux du Pliocène moyen-supérieur, la nappe du Pliocène inférieur est artésienne dans toute la région centrale autour du Lac Tchad. Les sables peuvent se superposer directement à ceux du Miocène (CT), notamment dans la région du Kanem, pour ne former qu’un seul aquifère dont l’épaisseur peut alors dépasser 275 mètres.

De même que pour la nappe du Quaternaire, la piézométrie de la nappe captive a été établie dans les années 1970 puis réactualisée en 1992 (carte 2). Son gradient général est également dirigé vers la plaine du Pays-Bas, au nord-est, où elle devient subaffleurante et se présente en continuité avec l’aquifère du Quaternaire. Dans la partie centrale du Bassin, sous le Lac Tchad, elle est artésienne avec des charges pouvant dépasser 20 mètres au-dessus du sol.

La nappe captive du Continental terminal (CT)
(Lower aquifer des formations du Tchad ; Oligocène-Miocène)

Il s’agit d’un ensemble essentiellement sableux dont la puissance, d’une centaine de mètres, peut dépasser 600 mètres dans les fossés d’effondrement tel celui de Doba. Dans le bassin du Salamat, au Tchad, ils peuvent reposer directement sur les sables cénomaniens, créant ainsi un seul aquifère puissant de 460 mètres. La nappe du Continental terminal se trouve donc parfois en continuité avec celles sus-jacente du Pliocène inférieur (nord-est du bassin), parfois en continuité avec celle sous-jacente du Crétacé (Salamat) et parfois réellement individualisée comme dans la plaine du Nigeria.

Major ground water aquifers

The main hydrogeological units recognized in the Basin are shown in the background of the piezometric maps and drawn schematically in the diagram opposite (Figure 1). Among them the only ones effectively used, because of their depth and their water quality, are those of the Quaternary, the Lower Pliocene and, occasionally, the Late Continental. All aquifers beneath the Quaternary are confined and artesian in the centre of the Basin.

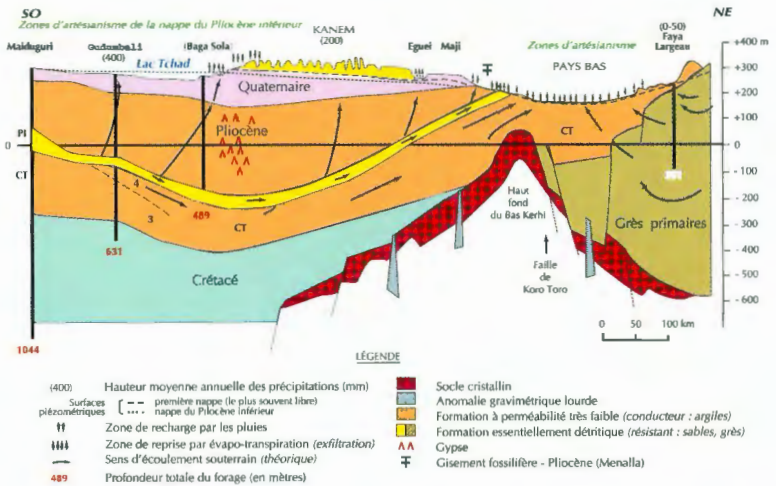


Figure 1 : Coupe schématique des systèmes aquifères du Bassin du Lac Tchad (d’après J.L. SCHNEIDER, 1991).
Figure 1 : Hydrogeological sectionn of the Lake Chad Basin (from J.L. SCHNEIDER, 1991).

Upper aquifer of the Chad formations

- Two types of formation represent the Quaternary aquifer :
- fluviatile, more or less thick Lower Pleistocene sands with more or less thick and numerous clayey intrusions, resting on Pliocene clays ;
 - wind-blown sands of the Upper Pleistocene (Ogolian), which are the ground water aquifer of a large part of Kanem and Manga in Niger.
- The thickness of sands increases considerably to the north of Lake Chad as a result of subsidence movements.

The piezometry of the Quaternary aquifer was mapped in the 1970s by UNESCO and FAO on behalf of the Lake Chad Basin Commission (CBLT). This was up-dated by BRGM in 1992 during the course of another Commission programme (Map 1). The general slope of the aquifer is directed towards the Low Plain. To the northeast, however, the Sahelian strip is marked by some peculiar piezometric domes and depressions. In Kanem and Harr, the water dividingline are a clear barrier to flows coming from the south. The two largest depressions are in the Chari-Baguirmi in Chad and in the Nigerian plains. This type of depression, whose origin is little still known but which may be related to evaporation processes, is found in the whole african Sahel zone.

The middle aquifer of the Lower Pliocene

Contained in the sand formations and separated from the upper aquifer by thick clay deposits of the Middle-Upper Pliocene, the Lower Pliocene aquifer is artesian in the whole of the central area around Lake Chad. The sands may be superposed directly on those of the Miocene (CT), particularly in the Kanem region, to form a single aquifer with a thickness that may exceed 275 metres.

As for the Quaternary aquifer, the piezometry of this confined aquifer was mapped during the 1970s and updated in 1992 (map 2). Its general gradient is also towards the plains of the Low Land in the northeast where it becomes sub-outcropping and continuous with the Quaternary aquifer. In the central part of the Basin, under the Lake, it is artesian with pressures exceeding up to 20 meters.

The confined aquifer of the Late Continental

This is essentially a sandy aquifer. Its normal thickness of about 100



La nappe captive du Continental hamadien
(Crétacé moyen-Maastrichien)

Les sondages du programme FAO (1970-1973) auraient testé au Niger des formations assimilables au Continental hamadien à Nguel Gandi et Chaoua, avec des niveaux artésiens. Les qualités de l’eau sont cependant médiocres. Les forages pétroliers ont rencontré les sables maastrichiens vers 1 600 à 2 000 mètres de profondeur, dans le fossé d’effondrement du Lac.

La nappe captive du Continental intercalaire
(Dinantien-Crétacé inférieur)

L’Aptien et l’Albien ont été rencontrés dans le bassin de Bousso au Tchad à des profondeurs supérieures à 1 000 mètres. Un ensemble sableux rencontré à Doba et identifié au Cénomaniens-Albien a une puissance de près de 500 mètres à partir d’une profondeur de 458 mètres. On retrouve également cette formation dans le Salamat à une profondeur de 500 mètres avec une épaisseur qui peut aller de 350 à près de 600 mètres.

Evolutions piézométriques observées sur les principaux aquifères

Les plus anciennes observations piézométriques datent seulement du début du siècle. Le suivi des nappes est devenu plus régulier depuis les années 1960, il permet de rendre compte des tendances évolutives actuelles.

- Pour la nappe phréatique, on constate un affaissement progressif des dômes piézométriques comme ceux du Kanem et du Haar au Tchad, depuis les années 1960, de l’ordre de 0,10 mètre par an. Cette tendance régressive est observée depuis le début du siècle et s’est accentuée depuis les années de sécheresse. Dans les plaines alluviales (région de Massaguet au Tchad), et a fortiori là où les nappes sont en “creux piézométrique” comme dans le Manga (Niger), il semble que l’évolution soit plus lente ; la baisse est inférieure à 0,05 mètre par an.

- Pour la nappe du Pliocène inférieur, le bilan à long terme est également négatif avec une baisse moyenne de 0,23 mètre par an observée dans la plaine nigérienne. Cette baisse relativement importante s’observe également au Niger, au Cameroun ainsi qu’au Tchad. Elle semble plus marquée pour les forages artésiens. On a constaté depuis les années 1970 une réduction sensible de la limite d’artésianisme.

- Les baisses observées sur les nappes profondes au Cameroun dans la nappe du Continental terminal ou au Tchad dans le Continental intercalaire sont du même ordre de grandeur que celles de la nappe du Pliocène inférieur.

Bilan hydrique

Bilan hydrique naturel

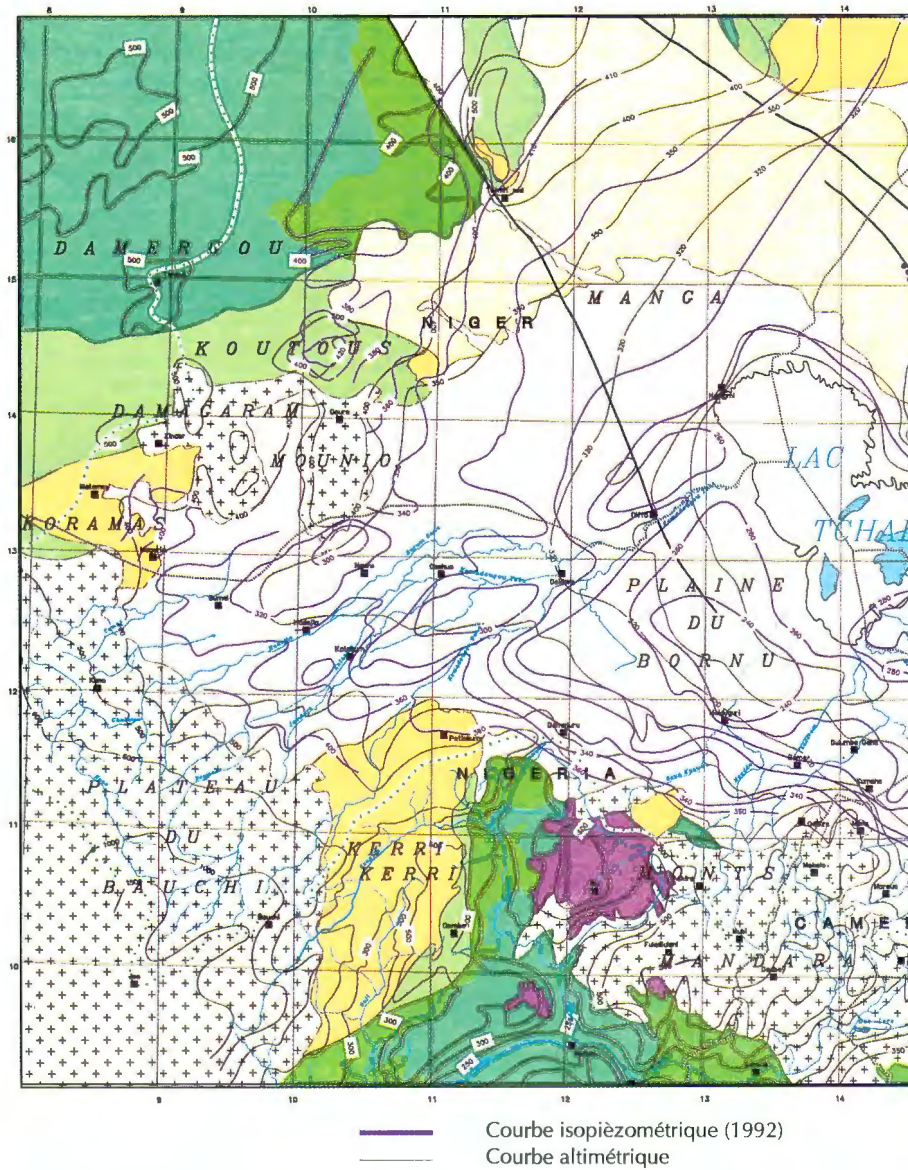
Pluies efficaces

L’estimation des pluies efficaces par le bilan hydrique classique fait intervenir la pluie, l’évapotranspiration potentielle (ETP Turc ou Penman) et la réserve en eau du sol. Une estimation par cette approche, avec un pas de temps décadaire, chiffre la pluie efficace sur le bassin à une valeur de plus de 300 millimètres par an vers la marge sud-ouest du bassin (plateau du Bauchi) pour passer progressivement à moins de 10 millimètres par an au nord du 15° parallèle. Il s’agit cependant d’une donnée agrométéorologique brute qui ne rend pas compte des phénomènes hydriques qui interviennent dans la zone non saturée ; elle ne peut pas être assimilée à la recharge des nappes souterraines.

Infiltration efficace

L’infiltration efficace désigne la quantité d’eau météorique qui atteint réellement la nappe phréatique. Le recoupement entre de multiples méthodes d’estimation directe de l’infiltration efficace : traçage au tritium, bilan du chlore, bilan hydrologique, modèle global, modèle hydrodynamique, montre que l’ordre de grandeur de la recharge en domaine sahélien se situe généralement en dessous de 5 p. 100 de la pluie annuelle. Elle se situerait donc dans le Bassin entre 50 millimètres vers le 10° parallèle et 5 millimètres vers le 16° parallèle.

Carte 1
Piezométrie de la nappe phréatique
Aquifer piezometry map of



meters, can be more than 600 meters in the sunken rifts, like the one in Doba. In the Salamat basin in Chad, they can rest directly on Cenomanian sands thus building a single aquifer with a power of 460 meters. The aquifer of the Late Continental thus comes sometimes in continuity with the over-laying aquifers ones of the Lower Pliocene (north-east of the Basin), sometimes in continuity with the sub-jacent ones of the Cretaceous, and sometimes really individualized like in the Nigerian plain.

The confined aquifer of the Continental Hamadian

Drillings by the FAO programme of 1970-1973 showed artesian formations in Niger similar to those of the Continental Hamadian at Nguel Gand and Chaoua. The water quality of these aquifers is mediocre. Drillings for oil exploration met Maastrichien sands between 1 600 and 2 000 metres deep in the sunken rift of the Lake.

The confined aquifer of the Intermediary Continental

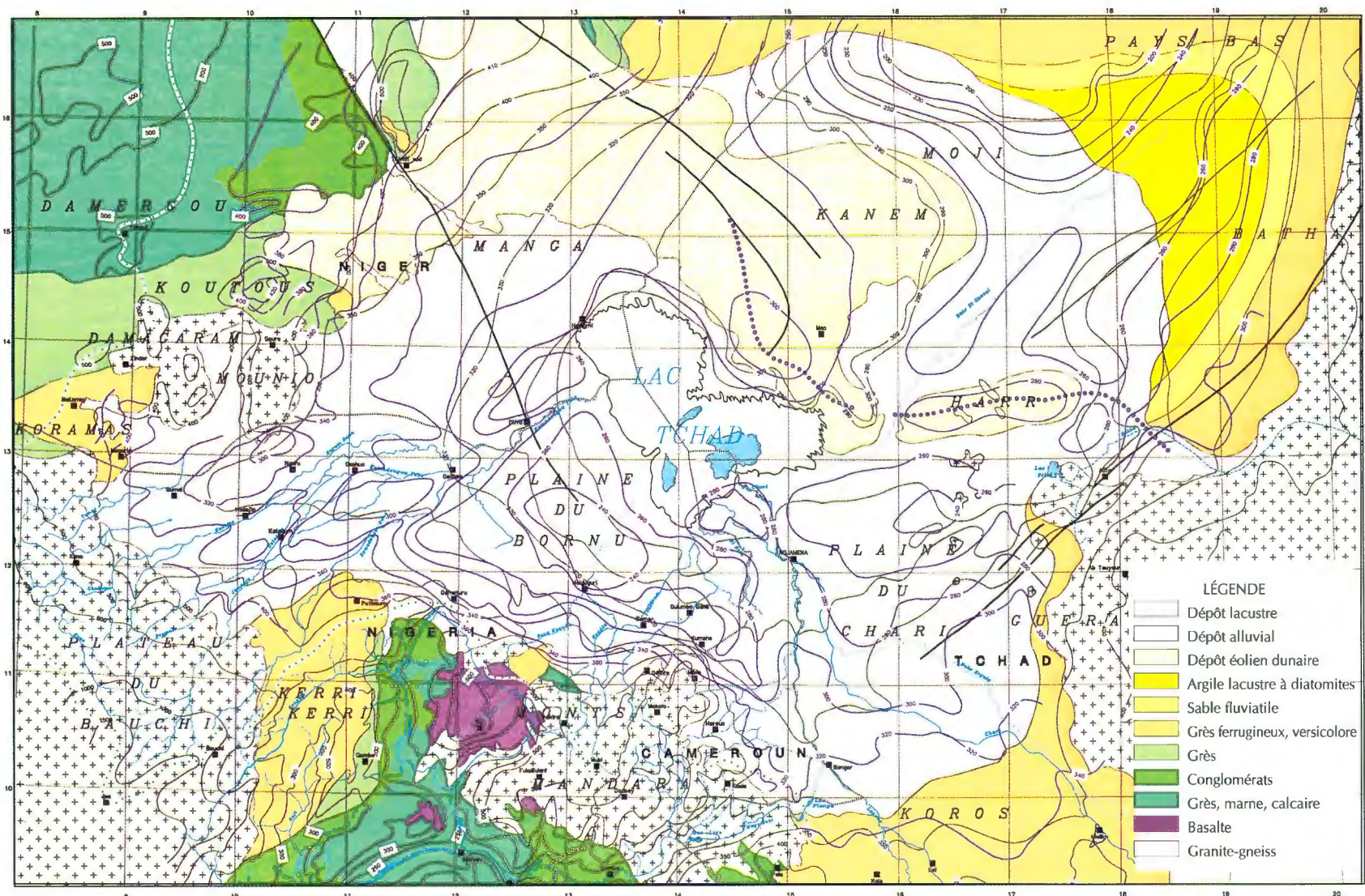
Aptian and Albien were found in the Bousso basin in Chad at depths over 1 000 metres. A sandy zone at Doba has been identified as Cenomanian/Albian and has a thickness of 500 metres starting at a depth of 458 metres. This formation is also present in the Salamat at a depth of 500 metres and has a thickness varying from 350 to almost 600 metres.

Piezometric developments on major aquifers

The first piezometric observations date only from the beginning of this century. The follow up of the aquifers become more systematic since the 1960s and provides an understanding of current developments.

- In the aquifer there has been a constant reduction in the height of the domes of about 10 cm per year since the 1960s like the ones in

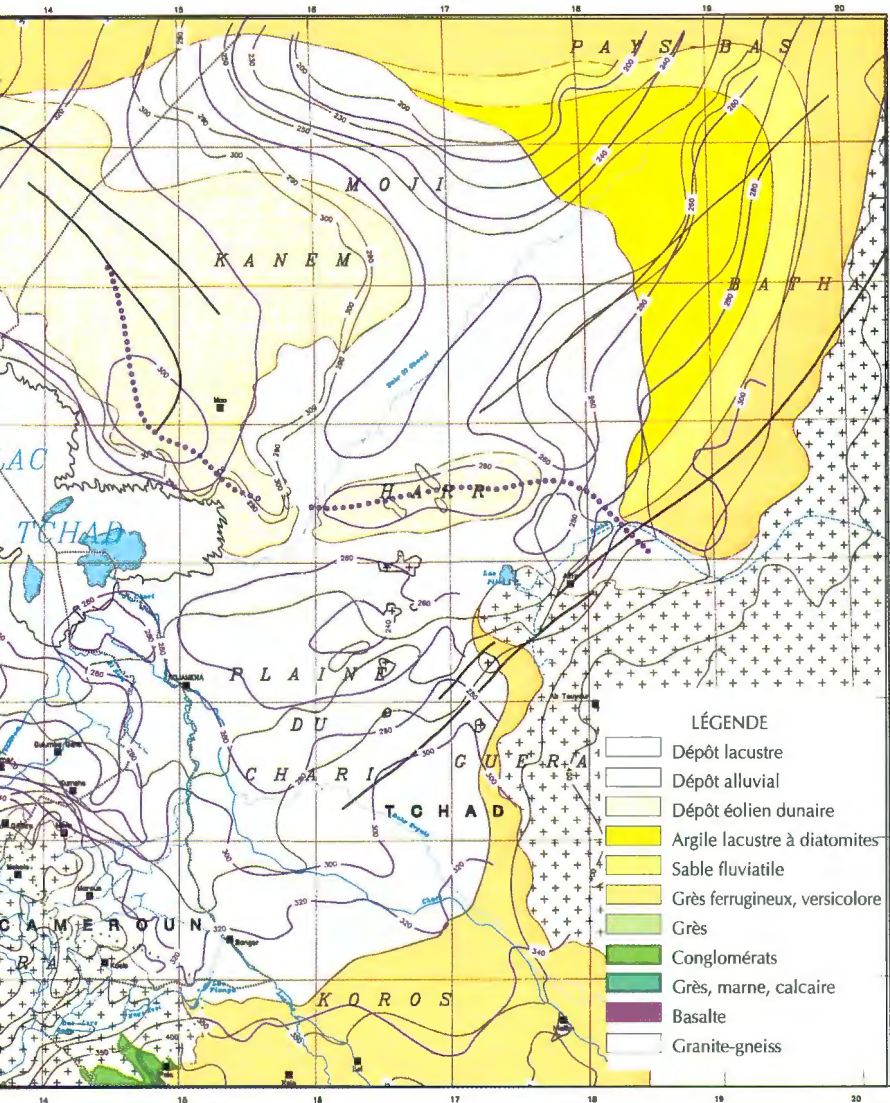
Carte 1 Piezométrie de la nappe phréatique du Bassin du Lac Tchad Aquifer piezometry map of the Lake Chad Basin



— Courbe isopiézométrique (1992)
— Courbe altimétrique



Carte 1
Hydrogéologie du Bassin du Lac Tchad
map of the Lake Chad Basin



Reprise des eaux souterraines par évaporation : exfiltration

Dans les régions arides et semi-arides, le très faible degré d'humidité de l'air et du sol pendant la majeure partie de l'année explique que les phénomènes d'évaporation ne se limitent pas toujours à la simple évaporation superficielle et à l'évapotranspiration. La diminution importante du taux d'humidité peut engendrer un flux évaporatoire depuis des profondeurs relativement importantes à travers la zone non saturée, et c'est l'une des explications possibles de la présence des grandes dépressions piézométriques de la zone sahélienne. Des modèles basés sur les bilans isotopiques de l'oxygène 18 et du deutérium dans la zone non saturée ont montré que ce mécanisme d'exfiltration était bien réel ; ils ont même permis de le quantifier. Ainsi, peut-on passer en climat aride sous couvert sableux de 900 millimètres par an à 25 centimètres de profondeur à 10 millimètres à 2 mètres et moins de 1 millimètre au-delà de 10 mètres.

Ce phénomène, associé à l'évapotranspiration, pourrait expliquer les irrégularités de la piézométrie de la nappe phréatique dans le Bassin du Lac Tchad : gouttière de la bordure nord-est du Lac, dépressions du Chari-Baguirmi (Tchad), de la plaine nigérienne, etc. Un modèle numérique de la nappe phréatique, basé sur ces hypothèses, a été réalisé en 1992 pour la CBLT et a pu démontrer qu'elles pouvaient être cohérentes.

Evaluation des quantités d'eau prélevées

Les estimations faites en 1992 dans le cadre du projet BRGM-CBLT chiffrent à 438 millions de mètres cubes par an la consommation en eau, au début de la décennie 1990, dans l'ensemble des zones administratives concernant le Bassin Conventionnel du Lac Tchad (BLT), dont environ 252 millions prélevés dans les nappes souterraines. A ce chiffre doivent s'ajouter les pertes non contrôlées des nappes artésiennes qu'on a pu estimer à 28 millions de mètres cubes.

Les 252 millions de mètres cubes se répartissent en 171,6 millions de mètres cubes prélevés pour l'AEP, 47,5 millions de mètres cubes pour l'irrigation et 32,9 millions de mètres cubes pour l'élevage.

Kanem or Haïr (Chad). This reduction has been going on since the beginning of the century but has been more marked since the onset of the drought. In the alluvial plains around Massaguet in Chad and especially in the zones showing "piezometric holes", as in the Manga in Niger, it seems that the reduction is occurring more slowly, at a rate of about 5 cm per year.

- The long term balance in the Lower Pliocene aquifer is also negative, with an annual reduction of about 23 cm per year in the plains of Nigeria. This relatively high rate of reduction is also seen in Niger, in Cameroon and in Chad and appears more marked in the artesian wells. This has been accompanied by a marked reduction in the area of artesian activity since the 1970s.

- Reductions in the deep aquifers of the Late Continental in Cameroon and the Cretaceous in Chad are similar in magnitude to the Lower Pliocene aquifer.

Water balance

Natural water balance

Effective rainfalls

Estimates of effective rainfalls by the classic water balance method takes into account rainfall, potential evapotranspiration (PET of Penman or Turc) and soil moisture reserves. Estimates by this method at 10-day intervals put the effective rainfall at more than 300 mm/year on the southern marches of the Basin Bauchi Plateau. This diminishes progressively towards the north to only 10 mm/year north of the 15th parallel. This calculation relates, however, to a crude agrometeorological measure which does not consider the hydrological phenomena of the unsaturated zone and which cannot be considered to be the same as the amount of recharge to the underground aquifers.

Effective infiltration

The effective infiltration is the quantity of meteoric water which really reaches the aquifer. The cross-checking of several methods of direct measurement of effective infiltration - including tritiated water, chlorine balance, hydrological balance, global model and hydrodynamic model - indicates that the rate of recharge in the Sahel is generally less than five per cent of the annual rainfall. This means an annual recharge of 50 mm around the 10th parallel and of 5 mm towards the 16th parallel.

Resetting of underground water by evaporation : exfiltration

Very low relative humidity of the air and a low soil moisture status for most of the year in arid and semiarid zones explain why the phenomenon of evaporation here is not simply one of superficial evaporation and evapotranspiration. The large decrease in humidity may result in an evaporative flux starting from a considerable depth in the unsaturated zones. This may explain the occurrence of the major piezometric depressions in the Sahelian zone. Models based on 18 and deuterium isotope balances in the unsaturated zone, have shown that this mechanism of "exfiltration" indeed exists and could even be quantified. Losses in the arid zone under sand thus diminish from 900 mm/year at 25 cm depth to 10 mm at 2 metres and to less than 1 mm at depths of more than 10 metres.

Exfiltration combined with evapotranspiration, might explain irregular piezometry in the aquifer of the Lake Chad Basin : the "gutter" of the northeastern border of the Lake, the depressions of the Chari-Baguirmi in Chad, of the plains of Nigeria, etc.... A numerical model of the upper aquifer based on these hypotheses was established in 1992 for the Chad Basin Commission and showed them to be coherent.

Évaluation de la water offtake

In 1992 the project BRGM-CBLT estimated at 438 million cubic metres the water used per year at the beginning of the 1990s over all the administrative zones of the Conventional Lake Chad Basin. Of this amount, 252 million cubic metres came from underground layers. Unmeasured losses from artesian sources, which can be estimated at 28 million cubic metres must be added to this figure.



Bilan global

Nappe phréatique

La nappe phréatique a, dans les conditions climatiques actuelles, un bilan naturel déficitaire, bien que les modélisations mathématiques et les études isotopiques entreprises démontrent l’évidence d’une recharge au niveau des ergs du Kanem et du Haar ainsi que sous le Lac Tchad. Elle bénéficie d’une alimentation régulière par ses limites sud, mais la bande est-ouest de dépressions piézométriques qui traverse la partie médiane du Bassin constitue un écran à toute circulation vers le nord. Son exploitation dans le centre et dans le nord du Bassin doit être comprise comme celle d’un gisement dont le stock n’est pratiquement pas renouvelé, sauf dans des conditions pluviométriques exceptionnelles.

Nappe captive

La nappe captive, non affectée par l’évaporation et alimentée par ses limites sud, aurait un bilan naturel équilibré. Son déficit hydrique et la baisse de la piézométrie qui en résulte sont essentiellement dus à l’exploitation. Des modèles de simulation (projet BRGM-CBLT) montrent que l’impact des pertes par artésianisme incontrôlé (forages ouverts) est cependant considérable, et il est à craindre que si la maîtrise des conditions d’exhaure n’est pas assurée, la baisse des niveaux posera des problèmes d’exploitation avant le milieu du siècle prochain.

Qualité des eaux souterraines

Nappe phréatique

La qualité des eaux de la nappe phréatique est généralement très bonne, à l’exception de quelques zones affectées par les dépôts évaporitiques (polders du Lac, région du Moji au Tchad...).

Salinité

La salinité des eaux rencontrées dans la nappe phréatique est très modérée et inférieure à 0,5 gramme par litre. Elle peut parfois cependant dépasser 1 gramme par litre dans les secteurs où dominent les formations argileuses à gypse du Pléistocènes supérieur (Moji au Tchad) et dans les argiles à diatomites des ouadi et polders du Lac Tchad.

Faciès

Les eaux des sables éoliens et des alluvions quaternaires sont en majorité de type bicarbonaté-calcique à calco-sodique, sulfaté pour les cas les plus minéralisés. Elles présentent très souvent une bonne qualité chimique pour l’alimentation humaine et l’irrigation.

Nappes captives

Les eaux de la nappe captive sont de moins bonne qualité et plus minéralisées que celles de la nappe phréatique. Le Pliocène inférieur présente cependant, dans le centre du Bassin, des caractéristiques acceptables, tant pour l’utilisation domestique que pour l’irrigation ou l’élevage.

Salinité

Les eaux du Pliocène inférieur et du Continental terminal approchent souvent le gramme par litre sans toutefois le dépasser souvent. Seules les eaux du Crétacé ont été trouvées saumâtres (plus de 3 g/l).

Faciès

Les faciès les plus fréquents sont, pour les eaux du Pliocène inférieur, de type carbonaté ou sulfaté-sodique. Ces caractéristiques sont à attribuer à la présence d’évaporites au sein des formations. Les teneurs en sodium croissent avec la profondeur, il n’est pas rare que les eaux du Continental terminal soient hypersodiques, et c’est le cas général pour les eaux du Crétacé. Ces faciès sont répartis géographiquement de façon assez régulière dans toute la cuvette du Lac Tchad, les faciès sulfatés se regroupent plutôt vers le centre de la dépression.

The 252 million cubic metres can be allocated as 172 million used for AEP, 47.5 million for irrigation and 32.9 million for livestock.

Overall balance

Free aquifer

Under current climatic conditions, the free aquifer has a natural negative balance even though mathematical models and isotope studies show some recharge in the ergs of Kanem and Haar as well as under Lake Chad. It benefits from a regular recharge provision from its southern limits but the east-west strip of the piezometric depressions across the central part of the Basin blocks all water movements towards the north. Extraction in the centre and the north of the Basin must thus be considered as a deposit whose stock is not replenished except under the most favourable rainfall conditions.

Confined aquifers

The confined aquifer, not affected by evaporation and replenished on its southern limits, should be in natural equilibrium. The hydric deficit and the reduced piezometry which results are essentially due to exploitation. Simulation models (BRGM-CBLT project) show that the impact of uncontrlled artesian losses (open wells) is considerable. There must be concern that, if artesian losses are not brought under control, lowered water levels will create problems of extraction before the middle of the 21st century.

Ground water quality

Free aquifer

The quality of the free aquifer waters is generally good with the exception of some areas affected by deposits of evaporative origin (polders, region of Moji in Chad, etc...).

Salinity

The salinity of waters met in the free aquifer is very moderate and lower than 0.5 g per liter; it can, however, exceed sometimes 1 g per liter in sectors dominated by gypsum clays from the Upper Pleistocene (Moji on Chad) and in diatomous clays of wadis and polders from the Lake Chad.

Facies

The waters of the aeolian sands and quaternary alluvials are in their majority calcic-bicarbonated to calcic-sodic, sulfated in the case of the higher mineralized ones. They usually offer a good chemical quality for human consumption and irrigation.

Confined aquifer

Waters of the confined aquifer are of a worse quality and more mineralized than the ones of the free aquifer. The Lower Pliocene offers, nevertheless, acceptable characteristics in the centre of the Basin for human consumption, livestock keeping or irrigation.

Salinity

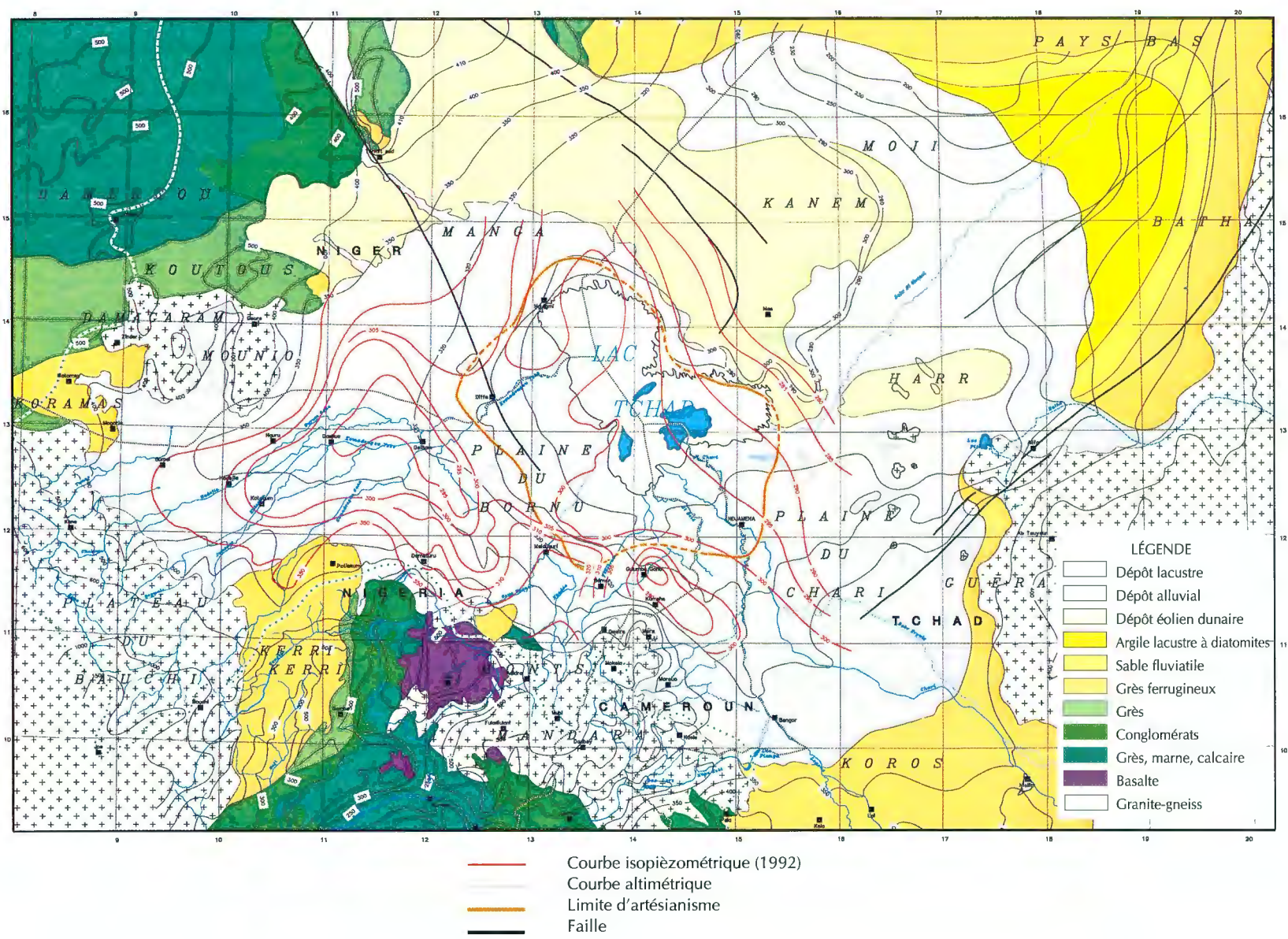
Waters of the Lower Pliocene and Late Continental often reach the gramme per liter, but seldomly exceed this value. Only the cretaceous waters have been found to be salty (more than 3 g/l).

Facies

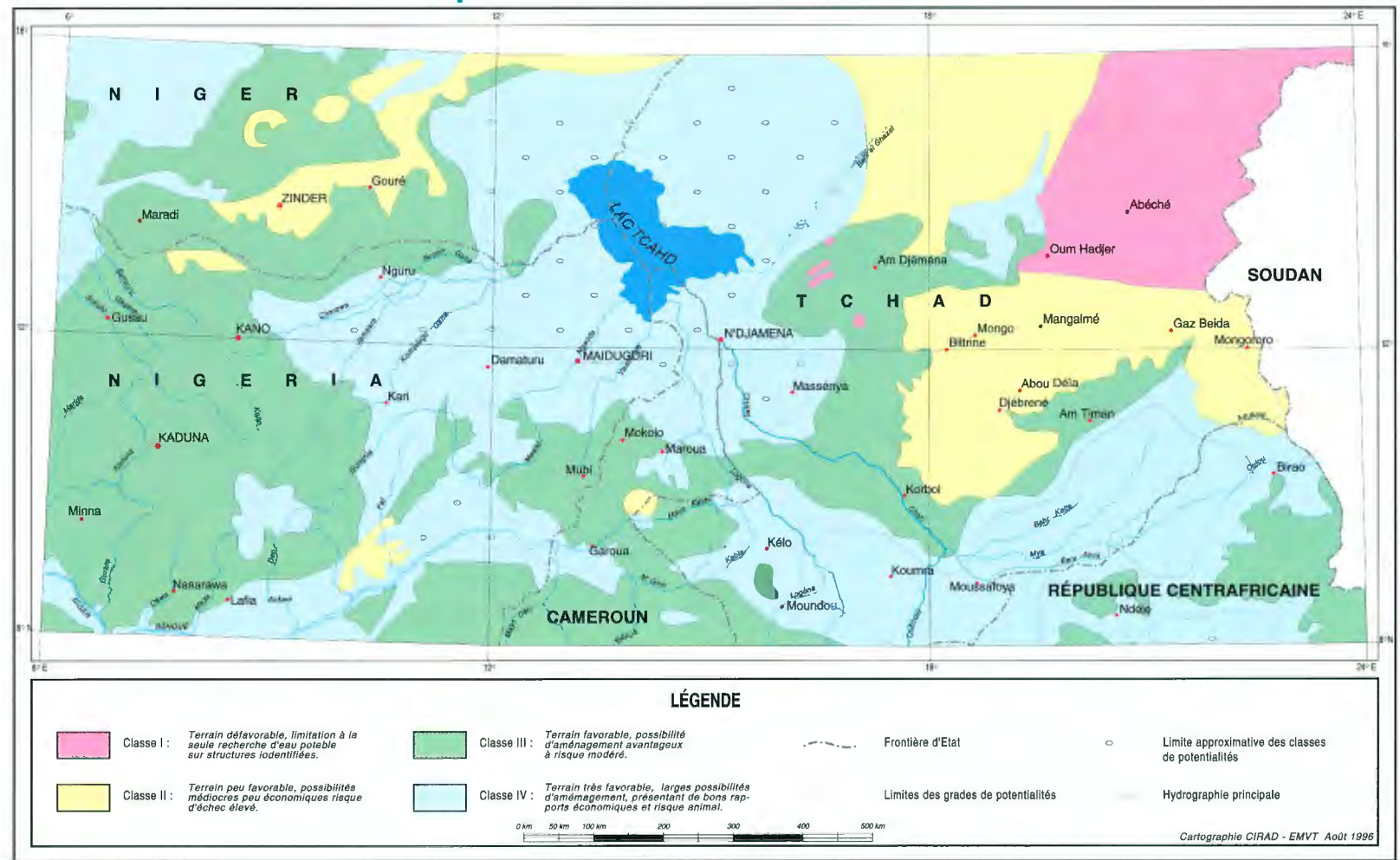
The most usual facies are, for the Lower Pliocene waters, of a carbonated or sulfate-sodic type. These characteristics come from the presence of evaporites in the formations. Rates of sodium increase with the depth and hypersodic waters are not rare in the Late Continental and quite usual in the Cretaceous. These homogenously spread in the whole basin of Lake Chad, but the sulfate facies are more likely found towards the center of the depression.



Carte 2
Piezométrie de la nappe captive du Bassin du Lac Tchad
Confined aquifer piezometry of the Lake Chad Basin



Carte 3
Potentialités des ressources en eau souterraine du Bassin du Lac Tchad
Water potential resources of the Lake Chad Basin





Bibliographie

ARANYOSSY J.F. (1991). L'apport des techniques isotopiques à l'étude de la recharge des aquifères sous contraintes techniques et climatiques extrêmes. Diplôme d'habilitation à diriger des recherches en Sciences. Univ. Paris-Sud, mars 1991.

ARANYOSSY J.F. (1991). Apport des techniques nucléaires à la connaissance et la gestion des ressources en eau du Sahel (Sénégal, Mali, Niger, Cameroun). VIIIth World Congress on Water Resources. Rabat, Morocco, May 1991.

ARANYOSSY J.F., FILLY A., TANDIA A.A., LOUVAT D., OUSMANE B., JOSEPH A., FONTES J.CH. (1991). Estimation des flux d'évaporation diffuse sous couvert sableux en climat hyper-aride (erg de Bilma, Niger). International Symposium on the Use of Isotope Techniques in Water Resources Development. IAEA UNESCO Vienna march 1991.

ARMAND C. (1987). Actualisation de l'atlas des eaux souterraines du Niger. BRGM/ Ministère de l'Hydraulique et de l'Environnement, République du Niger. Rapport BRGM n° 87 NER 108 EAU, mai 1987.

ARMAND C. (1986). Création d'un réseau piézométrique National au Niger. BRGM/Ministère de l'Hydraulique et de l'Environnement, République du Niger. Rapport BRGM n° 86 NER 082 EAU.

ARTIS H., GARIN H. (1991). Programme prioritaire de développement rural en zone de concentration. Volet Hydraulique villageoise et pastorale. République du Tchad, ministère des Mines, de l'Energie et des Ressources en Eau, Direction de l'ONHPV. VIe FED. Rapport BRGM n° 33556 EAU 4S 91, Orléans 1991.

BARBER W. (1965). Pressure Water in the Chad Formation of Bornu and Dikwa Emirates, North-Eastern Nigeria. Geological Survey of Nigeria, Bulletin n° 35.

BDPA, SCET-AGRI (1988). La télédétection, outil de suivi et de gestion des ressources en eau du Lac Tchad. Rapport CBLT/FAC, conv. n°370/C/DPC/86, mai 1988.

Beacon Services (1986). Gashua Water Supply, Hydrogeological report. Borno State Water Board. Beacon Services Ltd., Consulint International srl. 1978.

BERKALOFF E., BOURGEOIS M., FORKASIEWICZ J., MARGAT J. (1965). Interêt de l'étude de l'influence des variations de pression atmosphérique sur les surfaces piézométriques des nappes. Rapport BRGM n° DS 65 A 61, juillet 1965.

BICHARA D., SAFI A., SCHNEIDER J.L. (1989). La précarité ou même l'absence d'alimentation de la nappe phréatique en zone nord-sahélienne du Tchad. Résultats d'un quart de siècle de surveillance piézométrique. C.R. Acad. Sci. Paris, t. 309, Série II, p. 493-496, 1989.

BISCALDI R. (1968). Hydrogéologie de la nappe du Logone. Rép. Féd. du Cameroun, Direction des Mines et de la Géologie. Rapport BRGM n° 68 YAO 003 oct. 1968.

BRGM (1970). Hydrogéologie de la nappe phréatique du Logone Chari Tchad. Rapport de fin de mission. Rép. Féd. du Cameroun. Direction des Mines et de la Géologie. Rapport BRGM n° 70 YAO 003 fév. 1970.

BRGM (1970). Carte hydrogéologique de la plaine du Tchad, nappe phréatique. Echelle 1/200 000. Rép. Féd. du Cameroun, Direction des Mines et de la Géologie. Rapport BRGM n° 70 YAO 003 fév. 1970.

BRGM (1987). Actualisation des connaissances sur les ressources en eau souterraine de la République du Tchad. Rapport BRGM n°87 TCD 246 EAU, déc. 1987.

BRGM (1987). Etudes des nappes d'eau souterraine au Tchad. ONHPV-BID. Rapport BRGM n°87 TCD 156 EAU, août 1987.

CHEVERRY C. (1969). Salinisation et alcalinisation des sols des polders de Bol ; conséquences sur la fertilité et l'aptitude à l'irrigation de ces sols. Contribution à l'étude du Bassin Tchadien, Centre ORSTOM, Fort-Lamy.

CTGREF (1979). Evaluation des quantités d'eau nécessaires aux irrigations. Rép. Française, ministère de la Coopération, ministère de l'Agriculture.

DEGREMONT S.A. (1978). Mémento technique de l'eau. 8e édition. Technique et documentation, Paris.

DODO A. (1992). Etude des circulations profondes dans le grand bassin sédimentaire du Niger : identification des aquifères et compréhension de leurs fonctionnements. Thèse doct., Univ. de Neuchâtel (Suisse), 3 sept. 1992.

DURAND A., STEENHOUDT M. (1986). Carte de potentialité des ressources en eau souterraine de l'Afrique occidentale et centrale à 1/5 000 000. Carte d'aide à la décision pour le développement. Notice d'explication et d'utilisation BRGM. GEOHYDRAULIQUE; CIEH, CCE. Rapport BRGM n° 86 AFO 178 EAU.

EBERSCHWEILER C. (1990). Impact hydrologique et écologique de l'exploitation des eaux souterraines à des fins agricoles dans la région des ouadis au nord-est du Lac Tchad : quelques aspects. Rapport USAID Tchad, juillet 1990.

EBERSCHWEILER C. (1993). Suivi et gestion des ressources en eaux souterraines dans le Bassin du Lac Tchad. BRGM-CBLT. Rapport BRGM n° R 35985, août 1993.

FONTES J.CH., MAGLIONE G., ROCHE M.A. (1969). Eléments d'hydrologie isotopique dans le Bassin du Lac Tchad. Compte rendu du Colloque de l'OUA, Kinshasa, IAEA Vienna 1970, p. 209-219.

Géohydraulique (1986). Assistance technique pour les études et la supervision d'un projet d'hydraulique villageoise dans les provinces du Nord et de l'Extrême-Nord ; schéma d'orientation pour la recherche et l'exploitation des eaux souterraines. République du Cameroun, ministère de l'Agriculture, FONADER. Projet FSAR II. Géohydraulique déc. 1986.

Géohydraulique (1990). Assistance technique pour les études et la supervision d'un projet d'hydraulique villageoise dans les provinces du Nord et de l'Extrême-Nord ; BID 300 forages. République du Cameroun, ministère de l'Agriculture, FONADER. Projet FSAR II. Rapport de la campagne 1989-1990. SOGREAH, Division Géohydraulique/Géolab.

GREIGERT J. (1978). Contribution à l'étude hydrogéologique des alluvions du centre Sud-Nigérien ; Bassins des Koramas, Goulbi May-Farou, Damergou et vallées orientales de l'Adar Douthi. Rapport BRGM n° 78 AGE 001.

GREIGERT J. (1979). Atlas des eaux souterraines du Niger. République du Niger, ministère des Mines et de l'Hydraulique, BRGM. Etat des connaissances mai 1978.

IWACO BV (1985). Study of the Water Resources in the Komadougou-Yobe Basin. FED. Proj. n° 5604 70.94.187, dec. 1987.



- KINDLER J., WARSCHALL P., ARNOULD E.J., HUTCHINSON C.F.** (1990). Le Bassin Conventionnel du Lac Tchad. Une étude diagnostique de la dégradation de l'environnement. Rapport CBLT-PNUE-PNUD-OSSNU, juil. 1990.
- LATHAM E.W.** (1972). Etude des ressources en eau du Bassin du Lac Tchad en vue d'un programme de développement. CBLT. Ressources en eaux de surface dans le Bassin du Lac Tchad. Rapport PNUD/FAO, Rome, 1972.
- LEMOALLE J.** (1989). Le fonctionnement hydrologique du Lac Tchad au cours d'une période de sécheresse (1973-1989). Rapport ORSTOM Montpellier 89-03.
- MAGLIONE G.** (1976). Géochimie des évaporites et silicates néoformés en milieu continental confiné. Les dépressions interdunaires du Lac Tchad. Travaux et documents de l'ORSTOM, n° 50.
- MILLER R.E., JOHNSTON R.H., OLOWU J.A.J., UZOMA J.U.** (1968). Groundwater hydrology of the Chad Basin in Bornu and Dkwa Emirates, Northeastern Nigeria, with special emphasis on the flow life of the Artesian system. Contribution to the hydrology of Africa and the Mediterranean region. GSN/USAID. Geological Survey Water-Supply, paper 1757-I, Washington 1968.
- NDIAYE B., ARANYOSSY J.F., DIENG B., FAYE A.** (1991). Le rôle de l'évapotranspiration dans la formation des dépressions piézométriques ; hypothèses et modélisation. International Symposium on the Use of Isotope Techniques in Water Resources Development. IAEA UNESCO Vienna march 1991.
- OUA** (1989). Carte Hydrogéologique Internationale de l'Afrique, échelle 1/5 000 000. Organisation Africaine de Cartographie ; Programme de Cartographie Hydrogéologique Internationale de l'Afrique. Edition OACT, BP 102, Hussein-Dey, Alger, juin 1989.
- PEAUDECERF P.** (1970). Hydrogéologie de la nappe phréatique du Logone Chari Tchad. Compléments hydrodynamiques. Rép. Féd. du Cameroun, Direction des Mines et de la Géologie. Rapport BRGM n° 70 YAO 005.
- PIRARD F.** (1964). Reconnaissance hydrogéologique du Niger oriental. Rapport de fin de travaux 1960-1963. Essai d'esquisses hydrogéologiques. Rapport BRGM n° DAK 64-A 11.
- PNUD.** Bureau d'Exécution des Projets. (1980). Etude du développement du Lac Tchad. Rapport final. CBLT/DHV Ing. Conseils (Pays-Bas), Ganett Fleming Corddry and Carpenter (USA), SOGREAH Ing. Conseils (France). Rapport final, oct. 1980.
- POUYAUD B., COLOMBANI J.** (1987). Le Lac est-il condamné à disparaître. CBLT/ORSTOM, Laboratoire d'Hydrologie.
- RICOLVI M.** (1992). Document guide pour la conception et l'installation de systèmes d'observation des eaux souterraines dans les pays membres du CIEH. Rapport BRGM n° 88 AFO 228 3E.
- ROCHE M.A.** (1980). Traçage naturel salin et isotopique des eaux du système hydrologique du Lac Tchad. Travaux et documents de l'ORSTOM n° 117 (Thèse Paris VI, oct. 1973).
- SCET International** (1979). Pre-drilling Hydrogeological Investigations, Areas XIV and XV - Federal Republic of Nigeria, Federal Ministry of Water Resources. May 1979.
- SCHNEIDER J.L.** (1967). Fluctuation des nappes : Kanem, Chari Baguirmi, Batha. Année 1963. Rapport BRGM inéd. n° LAM 67 A1.
- SCHNEIDER J.L.** (1991). Contribution des données isotopiques à la connaissance paléohydroclimatologique : le Pléistocène supérieur du Nord Kanem (Tchad). C.R. Acad. Sci. Paris, t. 312, Série II, p. 869-874, 1991.
- SCHNEIDER J.L., WOLFF J.P.** (1992). Carte géologique et cartes hydrogéologiques à 1/1 500 000 de la République du Tchad. Mémoire explicatif. Document du BRGM n° 209, édit. BRGM, 2e trim. 1992.
- SCHROETER P., GEAR D.** (1973). Etude des ressources en eau du Bassin du Lac Tchad en vue d'un programme de développement. CBLT. Ressources en eaux souterraines dans le Bassin du Lac Tchad. Tome I : étude hydrogéologique ; tome II : documentation relative aux forages. Rapport PNUD/FAO, Rome, 1973.
- SIRCOULON J.** (1990). Impact possible des changements climatiques à venir sur les ressources en eau des régions arides et semi-arides, comportement des cours d'eaux tropicaux, des rivières et des lacs en zone sahélienne. ORSTOM, OMM, FAO, rapport WMO/TD n° 380, juin 1990.
- SOLAGES S.** (1986). Inventaire des potentialités naturelles du Bassin du Lac Tchad. Volet hydrogéologie. Analyse des connaissances. Rapport de synthèse CBLT-BRGM. Rapport BRGM n° 87 AFO 206 EAU.
- TAUPIN J.D., DEVER L., FONTES J.Ch., GUERO Y., OUSMANE B., VACHIER P.** (1991). Evaluation de l'évaporation à travers les sols par modélisation des profils isotopiques sous climat sahélien : exemple de la vallée du Niger. Soil Water Balance in the Sudano-Sahelian Zone (Proceedings of the Niamey Workshop, February 1991). IAHS Publ. n° 199, 1991.
- UNESCO** (1972). Synthèse hydrologique du Bassin du Lac Tchad. 1966-1970. CBLT. Rapport PNUD/UNESCO, Paris, déc. 1972.
- ZOUARI K.** (1983). Etude isotopique et géochimique de l'infiltration naturelle en zone non saturée sous climat semi-aride (Sud Tunisie). Thèse doct. 3e cycle. univ. Paris-Sud, mai 1983.